

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 盧 淳榮

論 文 題 目

### Acceleration and Diffusion of Cosmic Rays from Supernova Remnants in a Multiphase Interstellar Medium

(多相星間媒質中の超新星残骸における粒子加速と宇宙線粒子の伝搬)

論文審査担当者

主査 名古屋大学大学院理学研究科 教授 博士(理学) 犬塚修一郎

委員 名古屋大学太陽地球環境研究所 教授 博士(理学) 田島宏康

委員 名古屋大学現象解析研究センター 准教授 博士(理学) 松本浩典

委員 名古屋大学大学院理学研究科 准教授 博士(理学) 鈴木建

## 論文審査の結果の要旨

## 別紙 1 - 2

地球の大気には宇宙から高エネルギーの粒子「宇宙線」が絶えず降り注いでいる。宇宙線の起源を解明することは高エネルギー宇宙物理学のもっとも重要な課題の一つである。宇宙線のエネルギー分布はエネルギーの上昇とともに急激な減少を示し、“knee”と呼ばれる分布の盛り上がりが見られる。knee以下の宇宙線は、銀河系内の超新星爆発の残骸(超新星残骸)で発生していると予想される。若い超新星残骸は無衝突衝撃波と呼ばれるプラズマ現象を伴っており、ここでは拡散的衝撃波加速(diffusive shock acceleration)によって荷電粒子が加速されているとするのが定説である。近年のエクス線観測によって、電子は年のオーダーの短時間に加速されている可能性が示唆された。超新星残骸の衝撃波により加速された粒子は衝撃波面近傍から拡散するため、もし拡散が速すぎると加速効率は悪くなり、短時間での加速を説明することは困難である。また、この拡散の速さが非熱的放射の空間的な広がりを制約するため、拡散係数の大きさを評価することが必須である。しかしながら、これまでの拡散係数の理論は単純な背景電磁場の場合しか扱っておらず、現実的な乱流状態にある星間媒質についての拡散係数の研究はなされていなかった。

申請者は現実的な拡散係数を決定するために、星間媒質中を伝搬する衝撃波の電磁場構造を理論的に構築した。現実的な「多相」星間媒質では、放射による加熱・冷却と動的圧縮によって駆動される熱的不安定性により、高密度低温の星間雲が低密度高温の物質中に存在する。多相星間媒質中を伝搬する強い衝撃波は多数の二次的衝撃波を形成して乱流を駆動し磁場を増幅する。申請者は、このような磁気流体力学的乱流場の数値モデルを用いて、現実的な電磁場構造を記述する方法を開発した。

次に申請者は、構築した電磁場を背景場として高エネルギー粒子の伝搬について数値シミュレーションを行った。まず、乱流が卓越した背景場においては、荷電粒子の統計的加速(フェルミの二次加速)が理論的には期待される。実際に本シミュレーションにおいてもエネルギー空間における拡散現象が認められたが、拡散係数が小さいためにフェルミの二次加速は現実的には有効でないことを示した。また、乱流のエネルギー・スペクトルによっては、乱流エネルギーの注入スケールよりも小さい空間において、宇宙線粒子がランダムウォークよりも速い超拡散(super-diffusion)を起こす場合があることを示した。ただし、現実的な多相星間媒質中の乱流構造においては、乱流電磁場の振幅が大きく、超拡散の効果はほとんど見られず、拡散係数自体はいわゆるボーム極限に近い値をとることを申請者は明らかにした。

以上のように申請者は、多相星間媒質中を伝搬する超新星残骸中の衝撃波について粒子加速・拡散の数値シミュレーションを行なった。その結果、ボーム極限が拡散係数の近似として適当であることを示し、超新星残骸における短時間のエクス線強度変化が高効率の宇宙線加速によるものとする解釈、及びガンマ線観測と電波観測から示唆されている宇宙線陽子によるガンマ線放出という解釈が妥当であることを確認した。これらの結果は、宇宙線粒子加速・拡散に関する理論的研究の進展に寄与するものであり、申請者は博士(理学)を授与されるに相応しいと認められる。